

Biomassza- fa, energiafű, - nád – összehasonlító gyulladási és égési vizsgálatai

Pláveczky György – Vörös Ferenc
VEIKI Villamosenergiapari Kutató Intézet Rt.
H-1016 Budapest, Gellérthegy u. 17.

ABSTRACT

A biomassza felhasználása erőműi szinten széntüzelésű kazánokban valósítható meg. A szén, mint évmilliókkal ezelőtti biomassza szerkezete és összetétele eltér a mai biomassza szerkezetétől. Az eltérés a fő alkotó elemek- C, H, N, O, S - megoszlásában ill. egymáshoz kötésében van. Az eltérő szerkezet eltérő fizikai és kémiai tulajdonságokat jelent. Ezek az apríthatóságot, a gyulladást és az égés lefolyását alapvetően befolyásolják. Fa-forgács erőműi felhasználása a Borsodi Erőmű 2 db 100 t/ó és Pécsi Erőmű 200 t/ó teljesítményű kazánokban már megvalósult. Az átalakítások tervezéséhez kevés üzemi aprítási és tüzelési tapasztalat állt rendelkezésre. Ezek az üzemi helyezést követően halmozódnak fel és irányítják a figyelmet a megoldandó feladatokra. Az üzemi berendezésen a kísérletezés lehetősége korlátozott, nem lehet a paramétereket fejlesztői ötletek alapján változtatni az üzemvitel javítása érdekében. A primer energia biomasszával történő kiváltására az igények hazánkban is progresszív jelleggel növekednek, elsősorban fa-forgács, nád és fűfélék erőműi ill. decentralizált energia-termelő rendszerekben célzott felhasználására. A VEIKI Rt. az erőműi tüzeléstechnika terén több évtizedes K+F tapasztalatokra támaszkodva laboratóriumi - fél üzemi berendezéseket épített a bio – tüzelő-anyagok elgázosítási, gyulladási és égési folyamatainak vizsgálatára. A tanulmány fa, energia-fű, és -nád aprítékok ill. definiált szemcsehalmazok gyulladási és égés-folyamat vizsgálatairól készült összefoglalót mutatja be.

1. Bevezetés

A bio-tüzelőanyagok lehetséges felhasználási területe erőműi kazánokban és decentralizált energiatermelő rendszerekben való eltüzelés. Ez történhet egy – vagy többféle bio-tüzelőanyaggal, ezek keverékével illetve szén – biomassza keverék- vagy póttüzelés alkalmazásával. Erőműi széntüzelésű kazánokban több alkalommal tüzeltek a tervezettől eltérő minőségű szenet. A „vendég”-szén tüzelése a kazán megfelelő szerkezeti átalakítása és az anyag alkalmas előkészítése után sikeres volt. A biomassza szerkezete, fizikai – kémiai tulajdonságai azonban jelentős mértékben eltérnek a szén tulajdonságaitól. Ez a tény a meglévő berendezésekben tervezett biomassza felhasználást a szükséges szerkezeti átalakítások, a tárolás, előkészítés, adagolás technológia megváltoztatása miatt, gazdaságossági számítások alapján, megkérdőjelezheti. Jelentős előny azonban a bio-tüzelőanyagok alacsony kéntartalma, ami a környezetvédelem és a gazdaságosság szempontjából is indokolja ezen megújuló energiaforrások növekvő hasznosítását. A tüzelőanyag gyulladási és égési tulajdonságainak alapos ismerete szükséges a megfelelő de költségkímélő tüzelési technológia kialakításához illetve a meglévő berendezések alkalmas átalakításához. Munkánk alapvető célja az égésvizsgálatok terén végzett kutatás-fejlesztés eredményeivel és tapasztalattal a megújuló tüzelőanyagok felhasználásának támogatása.

2. A szén és biomassza fizikai-kémiai jellemzőinek összehasonlítása

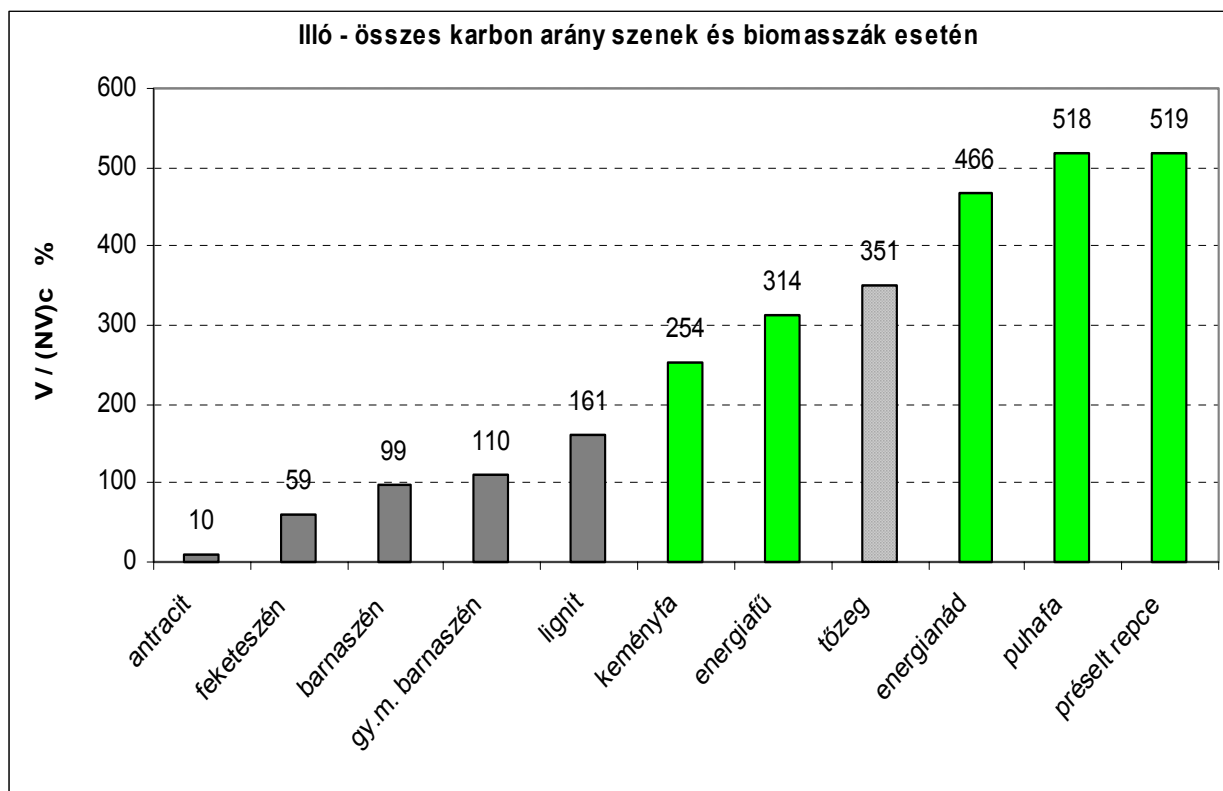
Tüzeléstechnikai szempontból legfontosabb eltérések a szén és biomassza között a karbon és illó tartalmak arányában és a biomassza esetén a magas oxigéntartalomban van. Előny a biomassza esetén az alacsony hamu-, és kéntartalom. De a hamualkotók között az alkáli elemek részaránya jelentős, ez a széntüzelésnél és a fluidágyas tüzelésnél ismert üzemzavarokat okozhat.

A bio eredetű tüzelőanyagok sajátos jellemzője a magas oxigéntartalom, ezért a fűtőérték a gyengeminőségű szenekre jellemző 12 – 17 MJ/kg. A biomassa / szén térfogatsúly aránya 1:2 - 1:4, a tároló, előkészítő, ill. transzport berendezések méreteit megfelelően növelni kell. A biomassa a rostos-szálás szerkezete miatt a széntüzeléseknél használt őrő-szemcseosztályozó berendezésekkel nem aprítható. Szén- és biomassa típusok immediat és elemi analízis szerinti adatait és az illó / fix karbon tartalmak arányát az 1 táblázatban hasonlítjuk össze. Az illó/fix karbon arány eltéréseit szemlélteti az 1. ábra

Tüzelő anyag	W	A	V _t	NV _C	C _t	H _t	S _t	N	O	V/(NV) _C
	m / m %									%
antracit	5.3	4.8	8.5	81.4	82.3	3.4	1.2	1.2	1.7	10
feketeszén	3.0	10.5	32.0	54.5	72.0	4.9	2.2	1.0	6.4	59
barnaszén	11.1	17.4	35.6	35.9	52.2	4.2	4.5	0.7	9.9	99
gy. m.* barnaszén	14.9	43.3	21.9	19.9	26.8	2.4	4.0	0.4	8.2	110
lignit	45.3	25.2	18.2	11.3	18.4	1.8	0.8	0.5	8.0	161
keményfa	26.0	0.8	52.5	20.7	31.7	3.8	0.1	1.3	36.3	254
energiafű	6.1	4.4	67.9	21.6	41.0	5.7	0.1	0.9	41.8	314
tőzeg	50.0	3.8	36.0	10.3	26.8	2.8	0.2	1.1	15.4	351
energianád	7.9	5.5	71.3	15.3	41.2	5.8	0.1	0.5	39.0	466
puhafa	9.4	0.4	75.6	14.6	44.7	5.3	0.1	0.3	39.8	518
préselt repce	5.9	5.6	74.2	14.3	50.1	7.0	0.8	4.2	26.4	519

* gyengeminőségű barnaszén

1. táblázat Szenek és biomasszák immediat és elemi analízis adatai, és illó-fix karbon arányai V/(NV)_C



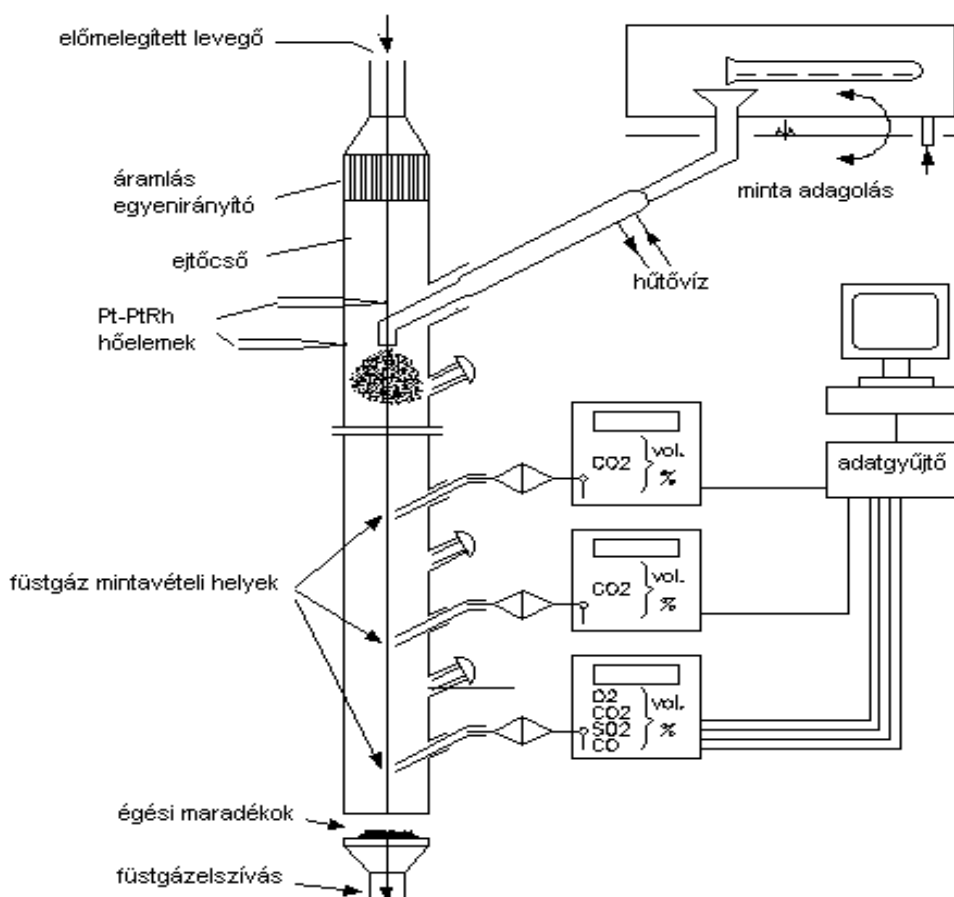
1. ábra illó – fix karbon arány szenek és biomasszák esetén, V / (NV)_C, %

3. Energiafű gyulladási és égési vizsgálata

A Pannon Hőerőmű szén – energiafű vegyestüzelés megvalósítását tervezi a meglévő kazánokban. A technológia kialakításához gyulladási és égésvizsgálatokat végeztünk energiafű mintákkal. A vizsgálatok célja adott szemcsemérettekkel jellemzett halmazok gyulladási és égési idejének felmérése annak megállapításához, hogy a tüztérben az égés befejeződik-e, vagy az apríték méretét korlátozni kell. A vizsgált tüzelőanyag elemzés szerinti adatait az 1. táblázat tartalmazza. A hosszú, szálás energiafű mintát laboratóriumi kalapácsos darálással több fokozatban aprítottuk. Az apríték finom porból és keskeny, hosszú –szálakból álló halmaz, a szemcseösszetétele inhomogén. A keskeny hosszú szálak maximális hossza 20 mm, vastagsága 1 – 2 mm. Az őrleményt szitasoron több szemcsehalmazra bontottuk. A szemcseméret ezen anyag esetén az egyedi darabok szálhosszúságát jelenti. A szemcsehalmazok jellemző méretei és ezek hamu-tartalma a következők:

szemcseméret mm	2 – 5	1 – 2	0.5 – 1	0 - 0.5
hamutartalom %	1.32	2.24	3.65	13.58

A gyulladási és égési vizsgálatokat ejtőcsöves kísérleti berendezésben végeztük. (2. ábra) Az ejtőcső függőleges helyzetű csőkemence, amelyben felülről lefelé előmelegített levegő vagy füstgáz áramlik. A kemence fal- és az áramló füstgáz / levegő hőmérséklete 20 - 1000 °C tartományban változtatható. A vizsgálandó mintát a csőkemence falán kialakított nyílásokon át lehet az égéstérbe adagolni. A kemence alsó vége nyitott, itt távoznak az égési maradékok és a füstgáz. Az égési maradékokat szűrő elem választja ki a füstgázból a további elemzések céljára.

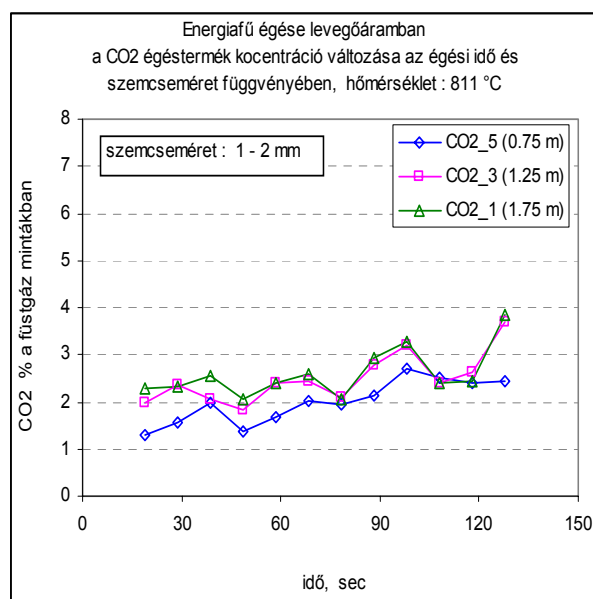
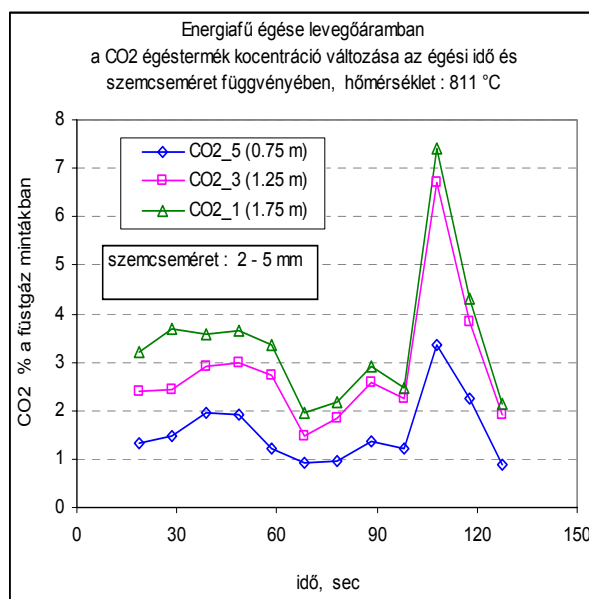


2. ábra Ejtőcsöves égés-vizsgáló kísérleti berendezés vázlatja

A gyulladási hőmérsékletet fokozatosan növelt hőmérsékletű levegőáramba adagolt szemcsék esetén a lángjelenség megfigyelésével határoztuk meg. A szemcsék gyulladását optikai pirométer érzékeli, ennek elektromos jelét, illetve a tüztér és levegő hőmérséklet értékeit számítógépes adatgyűjtő regisztrálja. Ezen módszerrel meghatározott gyulladási hőmérséklet az energiafű szemcsehalmazok esetén: 250 – 280 °C között volt.

Az égésvizsgálatokat 810 - 970 °C hőmérséklettartományban végeztük. Egy - egy égetési próba során a folyamatosan beadagolt mintamennyiség 8 +/- 0.5 gramm volt. Az égéstérbe adagolt energiafű halmazok a vizsgált hőmérsékletek mellett azonnal meggyulladtak, ez a kemence nyitott végén át megfigyelhető.

Az 1 - 2 és a 2 - 5 mm méretű halmazok szemcséi a kemence kilépő nyílásánál még láthatóan égtek. Az égési maradékokat összegyűjtöttük és ezekre a maradék éghetőtartalmat meghatároztuk. Az égés folyamatát a CO₂ égéstermék idő függvényében mérhető koncentrációváltozása alapján elemezzük, ehhez az égéstér hossza mentén 3 különböző helyről elszívott füstgázminta CO₂ tartalom változásait regisztráljuk. A mintavételi helyek távolsága a beadagolás helyétől : 0.75, 1.25 és 1.75 méter. Az égéstér hossza a beadagolástól mérve 2.0 méter. A 3. mintavételi helyről vett füstgázminta CO, SO₂ és O₂ tartalmát is regisztráltuk. Az energiafű örlemény nagy felületű és könnyű, ezért feltételezzük, hogy az egyes száldarabok a levegőárammal együtt, vele azonos sebességgel haladnak. A számított tartózkodási idő az adagoló helytől a mintavételi helyekig : 0.8, 1.3, 1.8 sec, az égéstér végéig : 2.0 sec. A 3. ábra a CO₂ égéstermék változásait mutatja az idő függvényében, a 2 – 5 mm és 1 – 2 mm szemcsehalmaz égése esetén, 811°C levegőhőmérséklet mellett. A 2 - 5 mm szemcsehalmazok égésénél a füstgáz széndioxid tartalma az égési út mentén növekszik, az 1 - 2 mm szemcséknél az első útszakaszon növekszik, a második útszakaszon közel állandó, a 0 - 0.5 és 0.5 - 1 mm szemcsehalmazok égésénél az égési út növekedésével kismértékben csökken. Az eltérés nem mérési vagy mintavételezési hiba. Ezt az adagolás helyén CO₂ gáz bevezetésével ellenőriztük. Ekkor a 3 mintavételi helyről vett gázmintákban a CO₂ tartalmak max. eltérése 0.03 % alatt volt. Az eltérés valódi okát tovább vizsgáljuk.

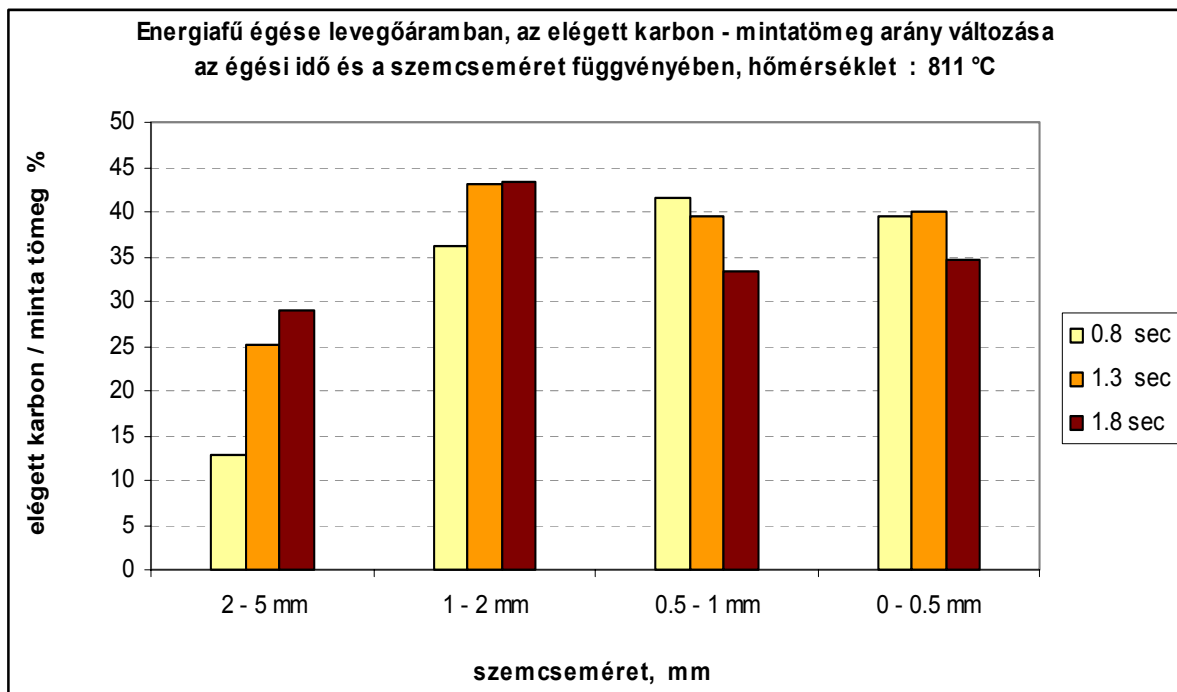


3. ábra

A széndioxid – idő függvények alapján meghatároztuk a mintavételi helyekig elégett karbon tartalom mennyiségeit. Az összehasonlításhoz az elégett karbon tömeget a mintatömegre vonatkoztatjuk. A szemcseméret és az égési idő függvényében a relatív elégett karbon tartalmak arányát a 4. ábra mutatja. Az összegyűjtött égési maradékok mennyisége a hőmérséklettől és a szemcsemérettől függően 0.05 - 1.2 gramm.

A mérési eredményeket az „éghető” anyag mérleg alapján értékeltük, feltételezve, hogy a hamutartalom, mint égési és izzítási maradék állandó. Ekkor a felfogott égési maradék izzítási vesztesége és az égés folyamán

eltávozott anyagmennyiség összege a minta izzítási veszteségével egyenlő. Ez a mérleg az egyes halmazoknál különböző eltéréseket mutat.

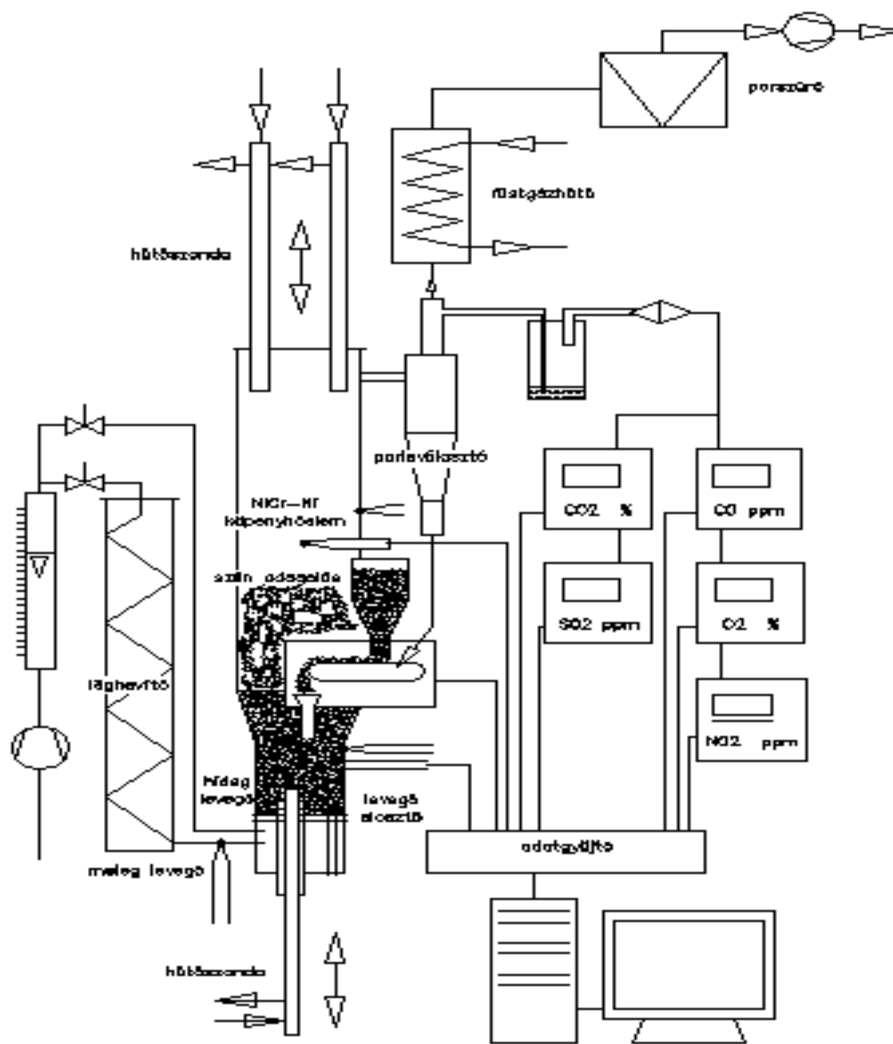


4. ábra

A karbon tartalom égés folyamata mellett jelentős lehet a nem éghető illó távozása és az égésre gyakorolt hatása, ezt a jelen mérési programban nem vizsgáltuk, de az anyagmérleg specifikus eltérései erre engednek következtetni. A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a 2 mm- nél kisebb szemcseméretű halmazok teljesen kiégték, a nagyobb szemcsék még jelentős mennyiségű éghetőt tartalmaznak a 2 sec égési idő után. A teljes kiégés ideje 5 – 6 sec – re becsülhető. A mérések során az alsó mintavételi helyről vett füstgázban a CO tartalom 200 – 1000 ppm, léghiány nem volt és a hőmérséklet 800 °C feletti, ezen paraméterek mellett a CO tartalom mértéke feltűnően magas. A füstgázban az SO₂ tartalom maximális mértéke 60 ppm volt.

4. Faforgács és fűrészpor égés vizsgálata fluid ágyas modellben

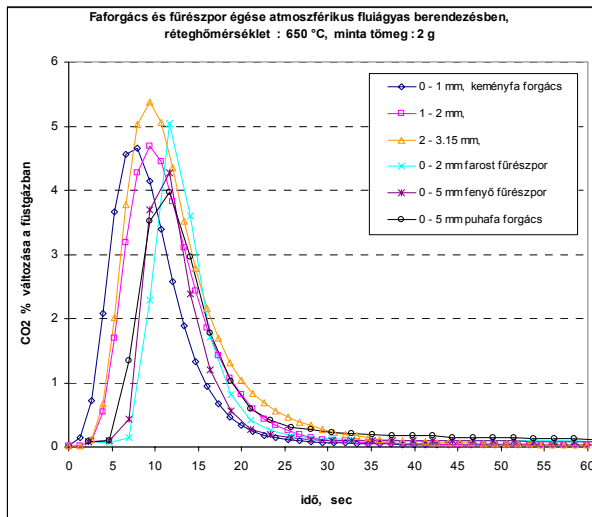
A vizsgálatok célja olyan tüzelési paraméterek keresése, amelyek alkalmazásával az ismert üzemi és technológiai problémák megoldhatók. A vizsgálatokat laboratóriumi fluid ágyas, 10 KW hő teljesítményű kísérleti berendezésen végeztük. 5. ábra. A berendezés fő jellemzői : az ágy és a tüztér között bővülő toldat biztosítja a réteg- és tüzelőanyag turbulens mozgását. A tüztér és ágy fala hűtetlen, hőszigeteléssel fedett. A primer égési levegő az ágy alján fúvókás levegőelosztón át áramlik a tüztérbe, szekunder és terciér levegőt a tüztér nyílásain lehet bevezetni. A berendezés része az elektromos fűtésű léghevítő, amely a primer levegő előmelegítését ezzel az egész berendezés felmelegítését biztosítja. A levegő és a réteg felmelegítése 900 °C –ig lehetséges, ily módon adiabatikus égési feltételek beállíthatók. Tanulmányozni lehet egyedi tüzelőanyag darabok, szemcse-halmazok égését, de folyamatos tüzelésre is alkalmas a berendezés. Folyamatos tüzelésnél a felszabaduló többlet hőmennyiséget a tüztérbe és a rétegbe helyezett hűtőszondákkal lehet elvonni. A levegőmennyiség, nyomás hőmérséklet és gázelemzési adatokat folyamatos számítógépes adatgyűjtő grafikus képernyőn megjeleníti és regisztrálja. A berendezés fő méretei : ágy átmérő : 60 mm, statikus ágymagasság : 80 - 120 mm, Tüztér átmérő : 102 mm, magasság : 1.2 méter



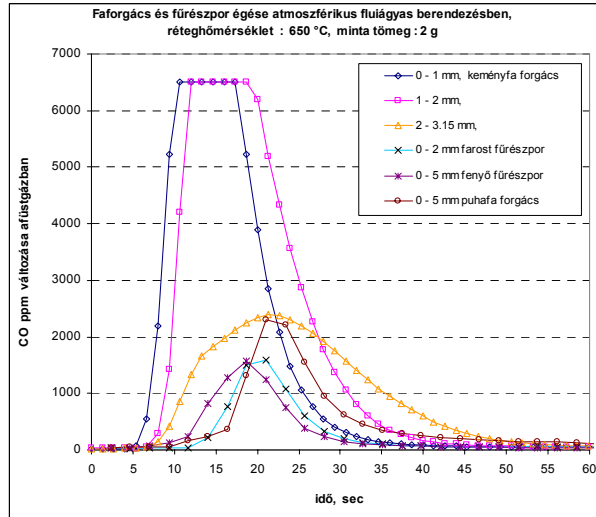
5. ábra atmoszférikus fluid ágyas égésvizsgáló berendezés vázlatja

Az első kísérleti terv szerint kemény- és puhafa, fűrészpor és forgács égési idejét és tulajdonságait vizsgáltuk. A réteg hőmérséklete 650 °C és 815 °C. A mintadarabok méretei keményfa esetén : 0 – 1 mm, 1 – 2 mm, 2 – 3.15 mm, 3 – 4 mm, 4 – 8 mm, 8 – 16 mm, 16 - 25 mm, puhafa forgács : 0- 5 mm. A fűrészporok szemcseméretei : 0 – 2 mm farost fűrészpor és 0 – 5 mm fenyő fűrészpor. A fa minták átlagos elemzési adatait az 1. táblázat tartalmazza. A minták tömege egy – egy égetési próbához fűrészpor és apró forgács esetén : 2 gramm. A nagyobb darabos mintáknál 1, 2, 5, 10, darab forgács összeválogatva úgy, hogy a tömegük közel azonos legyen. A CO₂ és CO égéstermékek idő függvényében mért változásait mutatják a 650°C hőmérsékletnél a 6. és 7. ábrák, 815 °C hőmérsékletnél a 8. és 9. ábrák. Az ábrákon látható, hogy a fűrészporok és az apró darabos faforgács égési tulajdonságai közel egyformák. A magasabb hőmérséklet mellett a égési idő 8-10 sec – el rövidebb, de a keményfa apró forgács égése folyamán jelentős mennyiségű CO van a füstgázban, ami az égés végéig nem csökken, annak ellenére, hogy léghiány nincs és a 815 °C hőmérséklet mellett sem ég el széndioxidá.

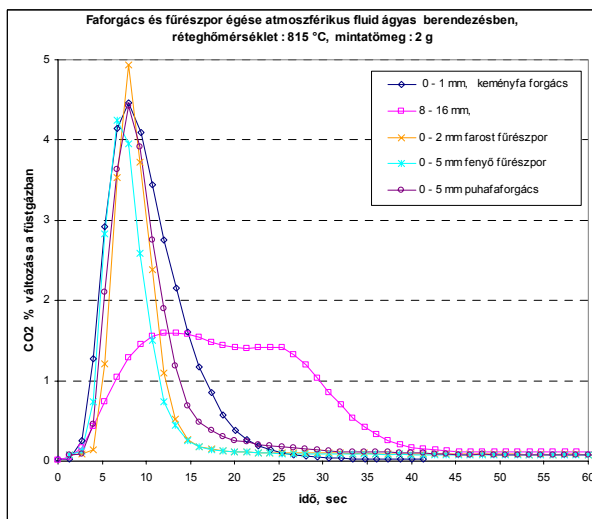
Egy másik kísérleti programban darabos keményfa forgácsokat égettünk, a vegyes halmazt méret szerinti frakciókra bontottuk, a jellemző méretcsoportok : 2 - 4 mm, 4 – 8 mm, 8 – 16 mm, 20 – 30 mm. A réteghőmérséklet : 815 °C, és a különböző frakciókból közel azonos mintatömeget kiválasztva végeztünk égetési próbákat. Az égéstermék koncentráció-változásait a 10. és 11. ábrák mutatják.



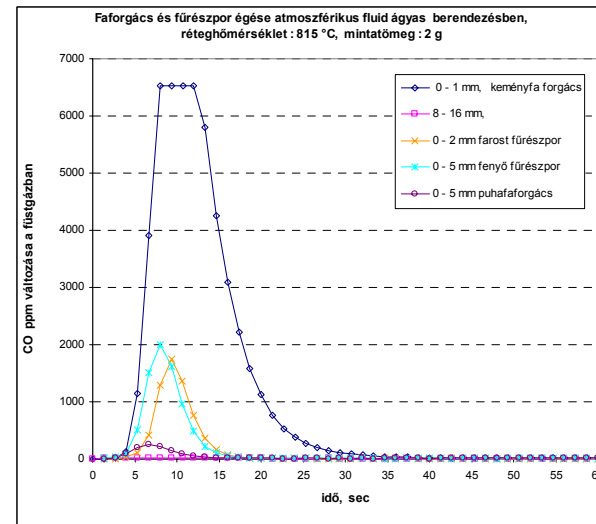
6. ábra



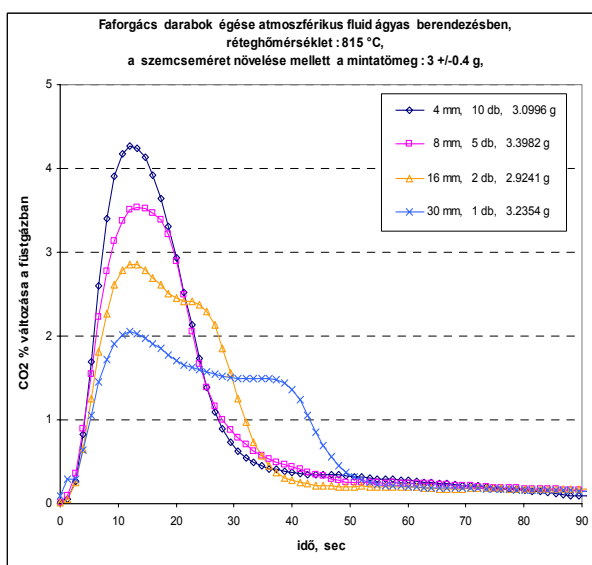
7. ábra



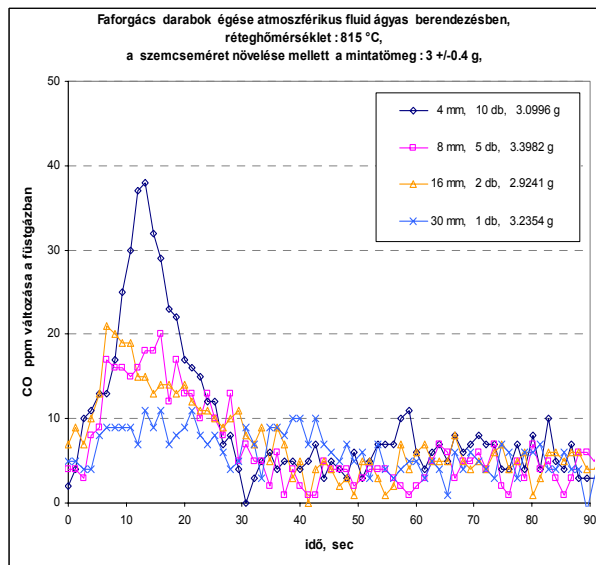
8. ábra



9. ábra

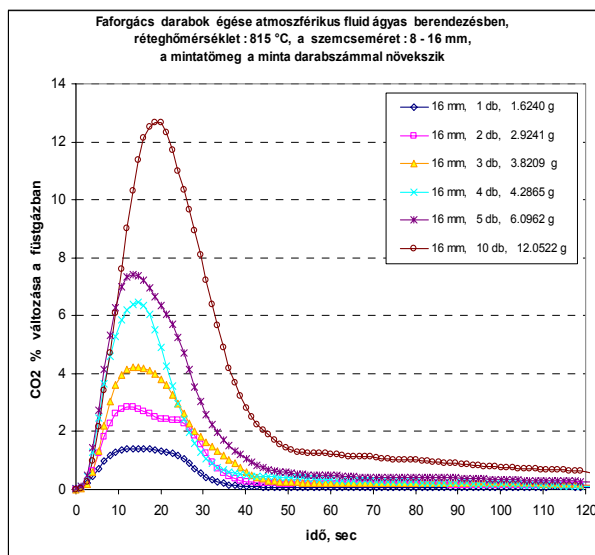


10. ábra

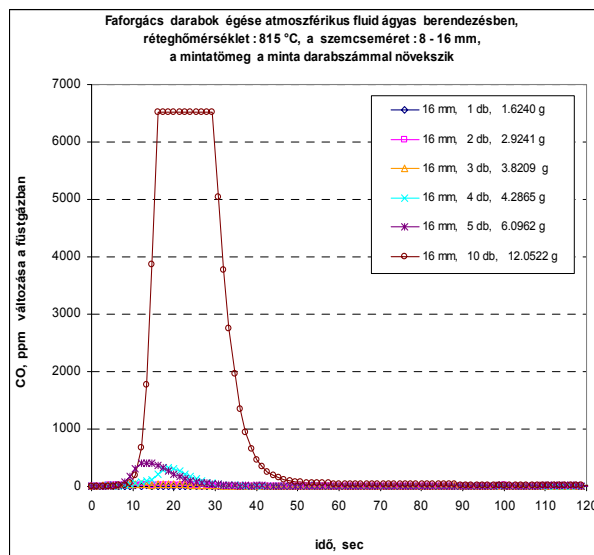


11. ábra

A 10. és 11. ábrákon látható, hogy a nagyobb minta-daraboknál az égési idő jelentősen növekszik, azonos minta tömegnél többszörös is lehet. A CO fejlődés ezzel ellentétes hatást mutat, a darab méret növelésével csökken a CO koncentráció, de ezekben az esetekben a légfesleg tényező értéke magas, 2 -5 közötti. Azonos méretű, a darabszámmal növelt tömegű minták égésénél, 1,5 – 2 légfesleg mellett is jelentős a CO koncentráció a füstgázban. Ezt mutatja a 12. és 13. ábra.



12. ábra



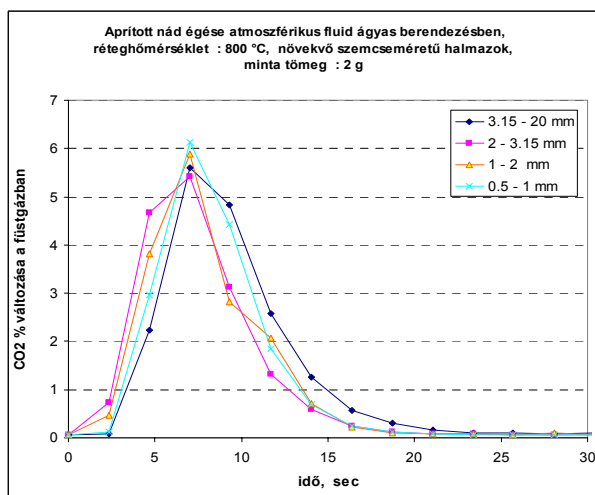
13. ábra

Több égetési próba-sorozat tapasztalata, hogy az 1 mm alatti szemcsehalmazok robbanás-szerű gyorsasággal gyulladnak és égnek, még csekély tömeg esetén is erőteljes nyomáshullámokat keltve. A robbanás-szerű gyulladás nyomáshulláma 400 – 600 °C hőmérsékletek esetén még erőteljesebb volt, mint 800 – 900 °C mellett. Az egyedi darabos fa 800 – 900 °C hőmérsékletű fluidrétegbe dobva gyorsan kigázosodik és a kiáramló illó a tüztérben néhány másodperc alatt elég. A kokszt maradvány a rétegben mozogva több percregig ég. Folyamatos tüzelésnél a kokszt darabok a rétegben bedúsulnak és a felszabaduló hőmennyiség hatására a réteg rövid idő alatt túl hevül. A kísérleti berendezésben több fa darab sorozatos adagolása mellett a réteghőmérséklet 5 perc alatt 400 °C – kal növekedett és a rétegtárgy is megolvadt. A fa égés vizsgálatok eddigi tapasztalatai szerint, üzemi körülmények között a tüzelőanyag szemcse összetételét szűk mérhetőárok között kell biztosítani.

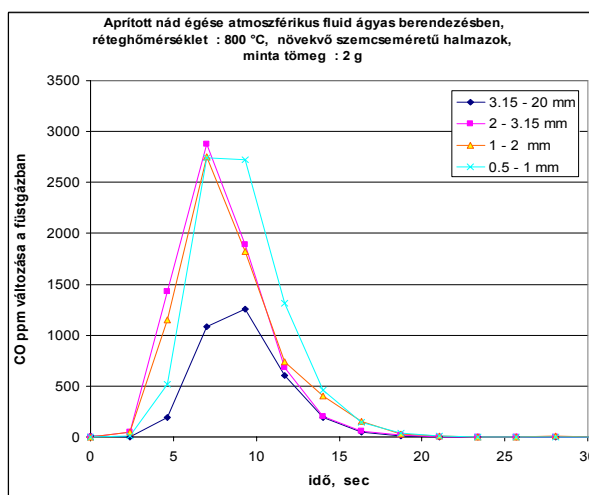
5. Nád gyulladási és égési vizsgálatai

Az ipari célra nem hasznosítható nád és a tervszerűen telepített nád ültetvények energetikai célú felhasználása napjainkban bontakozik ki. A felhasználók célja részben erőműi kazánban szénrel együtt, másrészt kisebb, decentralizált energiatermelő rendszerekben aprított vagy brikettezett nád eltüzelése.

Laboratóriumi fluid ágyas berendezésben (5. ábra) gyulladási és égési vizsgálatokat kezdtünk többféle méretű aprított náddal. A nád anyag elemzési adatai az 1. táblázatban vannak. A vizsgált nádhalmazok szemcseméret határai: 0,5 - 1 mm, 1 – 2 mm, 2 – 3,15 mm, 3,15 – 20 mm. A 3. pontban már ismertetett módszerrel a fenti szemcsehalmazokra 240 – 260 °C közötti gyulladási hőmérsékletet határoztunk meg. Az égetési vizsgálatokat 560°C és 800°C réteghőmérséklet mellett végeztük. A nád-halmazokból 2 gramm tömegű minta csomagokat egy-egy adagban a tüztérbe adva az égéstermékek változásait regisztráltuk. A 800°C réteghőmérsékletnél mért adatokat a 14. és 15. ábrák mutatják. Az ábrákon látható, hogy a szemcseméretnek csekély hatása van CO₂ égéstermék mértékére. A CO teljes égési időre számított átlag értékeit, az égés időtartamát és a fűtőértékre vetített fajlagos CO emisszió értékeit a 2. táblázatban hasonlítjuk össze a durva és egy finom frakció esetén.



14. ábra



15. ábra

2. táblázat

réteghőmérséklet	560 °C		800 °C	
szemcseméret, mm	3.15 - 20	1 - 2	3.15 - 20	1 - 2
égés időtartama, sec	49.05	44.382	23.4	21.1
CO átlag ppm	604	747	310	646
fajlagos CO g / GJ	2695	3014	659	1373

Aprított nád folyamatos tüzelése tisztán és szénrel együtt valamint elgázosítással kombinált tüzelési vizsgálatok jelenleg folynak.

Következtetések

A vizsgált biomassza fajták közös jellemzője, hogy az 1 mm-nél kisebb, finom frakciók robbanás-szerű gyorsasággal gyulladnak és égnek, kis tömeg esetén is jelentős nyomáshullámokat keltve.

Az égéstermékben jelentős a CO részaránya, akkor is ha nincs léghiány és a hőmérséklet is elegendően magas, 800°C feletti. A további vizsgálatok célja a CO megmaradását befolyásoló paraméterek felismerése a tüztér- és a tüzelőanyag áramlási viszonyainak behatóbb tanulmányozásával.

A fa fluid ágyas tüzelésénél a tüzelőanyag szemcseméretét szűk határok között kell tartani.

A jelentős mennyiségű finom frakció a robbanás-szerű gyulladás és magas CO fejlődés miatt, a túlságosan durva frakció (50-100 mm felett) a koksztartalmuk miatt, illetve a réteg túlhevülése miatt nem kedvező.

A kéndioxid tartalom a vizsgálatok során végig 100 ppm alatt volt, de számos esetben alig mérhető, ez környezetvédelmi szempontból is indokolja a biomasszák energetikai felhasználásának növelését.